



Avances en Investigación Agropecuaria
ISSN: 0188-7890
revaia@ucol.mx
Universidad de Colima
México

Efecto de las leguminosas en la dinámica edáfica en áreas ganaderas del occidente de Cuba

Lok, Sandra; Torres, Verena; Sarmiento, Mariela

Efecto de las leguminosas en la dinámica edáfica en áreas ganaderas del occidente de Cuba

Avances en Investigación Agropecuaria, vol. 23, núm. 1, 2019

Universidad de Colima, México

Disponible en: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=83759628006>

AVANCES EN INVESTIGACIÓN AGROPECUARIA, volumen 22, número 2, septiembre 2018 es una Publicación cuatrimestral editada por la Universidad de Colima, Av. Universidad # 333, Col. Las Víboras, Colima, Colima, México. CP 28045. Teléfono: (312) 3161000. Ext. 40011, www.ucol.mx/revaia, revaia@ucol.mx, aiaagropecuarias@yahoo.com.mx. Director responsable José Manuel Palma García. Reserva de Derechos al Uso Exclusivo No. 04-2016-112411015200-203, ISSN digital "en trámite", ambos otorgados por el Instituto Nacional del Derecho de Autor. Responsable de la última actualización, MC. Rosa Alejandra del Viento Camacho e Ing. Manuel Gutiérrez Gómez, Av. Universidad # 333, Col. Las Víboras, Colima, Colima, México. CP 28045, fecha de última modificación 10 de octubre de 2018.



Esta obra está bajo una Licencia Creative Commons Atribución 4.0 Internacional.

Efecto de las leguminosas en la dinámica edáfica en áreas ganaderas del occidente de Cuba

Sandra Lok
Instituto de Ciencia Animal, Cuba
slok@ica.co.cu

Redalyc: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=83759628006>

Verena Torres
Instituto de Ciencia Animal, Cuba

Mariela Sarmiento
Instituto de Ciencia Animal, Cuba

Recepción: 31 Octubre 2018
Aprobación: 20 Mayo 2019

RESUMEN:

Para determinar el efecto de tecnologías con leguminosas en la dinámica edáfica de pastizales, en condiciones edafoclimáticas de la provincia de Pinar del Río, Cuba, y crear escenarios productivos de referencia de su aplicación, se realizó el estudio durante cuatro años. Se evaluaron dos áreas: 1) banco de semillas-proteína y 2) abonos verdes-Morus alba. Se determinaron el índice de calidad visual (ICV), el carbono orgánico almacenado (CAS), N, P, Ca, Mg, pH, MO, la resistencia a la penetración y la densidad aparente. En el área 1, el ICV fue de pobre a bueno (13.5 a 40.5 puntos) en la época poco lluviosa, la resistencia a la penetración disminuyó en el período en 0.25 Mpa y el CAS fue de 32 t C ha⁻¹ en la profundidad de 0 a 10 cm. En el área 2, el ICV fue también de pobre a bueno (13.5 a 32.2 puntos) en la época poco lluviosa, la resistencia a la penetración disminuyó 0.53 Mpa respecto al año base, el CAS fue de 25.3 t C ha⁻¹ en la profundidad de 0 a 10 cm y la fertilidad edáfica retrocedió en 2016, lo que se asoció a las elevadas extracciones que realiza el cultivo. Se concluye que el uso de prácticas agrotécnicas basadas en leguminosas, puede constituir vía eficaz para mejorar la fertilidad edáfica y favorecer la producción de los pastos y forrajes, siempre que se apliquen correctamente. Las áreas estudiadas constituyen escenarios de referencia de estas prácticas en las condiciones edafoclimáticas del occidente de Cuba.

PALABRAS CLAVE: Carbono, suelo, fertilidad, plantas proteicas.

ABSTRACT:

To determine the effect of technologies with legumes in the edaphic dynamic of grasslands, in edaphoclimatic conditions of the Province of Pinar del Río, Cuba and to create productive scenarios of reference for their application, the study was carried out for four years. Two areas were evaluated: 1) Seed bank-protein; and 2) Green fertilizers-Morus alba. The visual quality index (ICV), the stored organic carbon (CAS), N, P, Ca, Mg, pH, MO, the penetration resistance and the bulk density were determined. In area 1, the ICV went from poor to good (13.5 to 40.5 points) in the dry season, resistance to penetration decreased in the period by 0.25 Mpa and the CAS was 32 t C ha⁻¹ in the depth from 0 to 10 cm. In area 2, the ICV went from poor to good (13.5 to 32.2 points) in the dry season, the resistance to penetration decreased 0.53 Mpa compared to the base year, the CAS was 25.3 t C ha⁻¹ in the depth from 0 to 10 cm and edaphic fertility receded in 2016, which was associated with the high extractions made by the crop. It is concluded that the use of agro-technical practices based on legumes can be an effective way to improve soil fertility and favor the production of pastures and forages, provided they are applied correctly. The areas studied constitute reference scenarios of these practices in the edaphoclimatic conditions of the West of Cuba.

Carbon, soil, fertility, protein plants.

KEYWORDS: Carbon, soil, fertility, protein plants.

INTRODUCCIÓN

El uso racional y óptimo de los suelos en los trópicos húmedos constituye un problema complejo, cuyas soluciones acertadas resultan difíciles (Febles *et al.*, 2008). En Cuba, los suelos dedicados a la ganadería

poseen, entre sus principales factores, limitantes: baja fertilidad natural, pedregosidad, acidez, compactación, bajos contenidos de materia orgánica, pérdida de su cobertura vegetal y deterioro de su estructura, entre otras (Febles, 2007 y Hernández *et al.*, 2010). Según Soca *et al.* (2008) la dinámica de la fertilidad de los suelos ganaderos entre los últimos 30 años, mostró disminución continua de la fertilidad de las áreas de forrajes, semillas y pastoreos intensivos.

El suelo en estos agroecosistemas, puede modificarse mediante métodos de manejo, técnicas de cultivo y aprovechamiento de residuos que preserven su bioestructura en lugar de degradarlos. La activación del complejo biológico se puede lograr al introducir combinaciones de plantas, de manera que sus interacciones sean beneficiosas. En este sentido, las leguminosas pueden ser una alternativa, debido a que permiten la activación de la fijación biológica del nitrógeno (Frioni, 1990), favorecen los contenidos de materia orgánica (Lok, 2010), propician el incremento de la producción de biomasa (Skerman *et al.*, 1991) y, según Vargas y Valdivia (2005), mejoran la estructura y el pH, así como favorecen la biodiversidad de la fauna edáfica y la cobertura del suelo.

Sin embargo, el uso de leguminosas no constituye una práctica común en condiciones de producción (Ruíz *et al.*, 2015). Demostrar su eficiencia en la actividad social y crear escenarios de referencia, puede ser importante para lograr su difusión. Por ello, el presente trabajo tuvo como objetivos determinar el efecto del uso de tecnologías con leguminosas en la dinámica del suelo en dos áreas de pastos y forrajes, así como propiciar escenarios de referencia de su aplicación.

MATERIALES Y MÉTODOS

El estudio se realizó en el Centro de Desarrollo y Cría “La Yaba”, de la Unidad Básica de Producción Cooperativa (UBPC) Las Cadenas, de la provincia Pinar del Río, ubicado en los 22.83° Latitud Norte y 83.45° Longitud Oeste.

La evaluación se realizó en dos áreas donde se incorporaron las leguminosas en 2013, año base de la investigación: 1) banco de semillas-proteína y 2) abonos verdes-*Morus alba*.

Los indicadores e índices se determinaron en 2014, 2015 y 2016. Ambos sitios poseen suelo Ferralítico rojo (Hernández *et al.*, 2015) y relieve con pendiente aproximada a 1%. Su clima se caracterizó por períodos de más de seis meses sin lluvias. Durante la investigación, la temperatura promedio fue de 24.7 °C y la precipitación media anual de 1,513 mm.

La cantidad de terneros varió entre años, de 90 a 125 animales, e ingresaron a la unidad una vez salidos del destete, entre los siete y 10 días de nacidos.

Las principales características de ambas áreas se describen a continuación:

Área de bancos de semillas-proteína

Poseía tres hectáreas que se sembraron como banco de semillas en septiembre de 2013 y funcionó como tal durante todo 2014; posteriormente, en 2015 y 2016, se utilizó como banco de proteína. Esta área contaba con riego por aspersión.

Las leguminosas que se sembraron en el banco de semilla fueron: *Neonotonia wightii* (glycine), *Canavalia ensiformis*, *Clitoria ternatea* (conchita azul), *Stylobium niveum* (mucuna), *Centrosema molle* y *Pueraria phaseoloides* (kudzu).

El suelo se preparó mediante labor convencional entre abril y mayo de 2013, se le realizó aplicación de materia orgánica (estiércol vacuno) a razón de 25 t ha⁻¹ y previo a la siembra también se aplicó fosforita nacional (con 20% de P₂O₅) en dosis de 150 kg ha⁻¹.

Las leguminosas se sembraron en grupos de surcos con igual especie, separados por tres hileras de surcos vacíos entre especies. La distancia de siembra fue de 0.70 m entre surcos y 0.50 m entre plantas para canavalia, mucuna, kudzú y clitoria. Centrocema y glycine se sembraron a chorrillo en el mes de octubre de 2013. Las semillas se cosecharon entre enero y febrero de 2014.

En enero de 2015, tras la caída accidental de la cerca perimetral, ocurrió la entrada del hato de terneros, que provocó el deterioro del banco de semilla. La aceptación que observaron los productores en los animales ante el consumo de este alimento fue déficit de pastos durante esa etapa, que los animales trataban de forzar su entrada al sitio insistentemente y el rápido crecimiento que mostraron aquellos que consumieron las leguminosas, hicieron que se volviera práctica común el corte del forraje en el banco de semillas, lo que lo convirtió, a partir de entonces, en banco de proteína. Así, a partir de febrero-marzo de 2015, de manera escalonada en el área, diariamente se cortó forraje para suministrárselo a los animales en comederos.

Área con abonos verdes-*Morus alba*

En marzo de 2014, mediante tracción animal, se surcaron cinco surcos cada dos metros para la creación de franjas, donde se sembraron posteriormente las leguminosas temporales; se realizó una aplicación de materia orgánica y fosforita, según dosis descritas anteriormente. En junio de 2014 se realizó la siembra de las leguminosas en las franjas de manera intercalada: dos surcos con canavalia, uno con centrosema y dos con mucuna. Se mantuvo siempre limpia el área de las franjas y, cuando aparecieron las primeras flores (en agosto), se hizo la labor de incorporación mediante arado, de toda la masa vegetal del área. Se siguió para ello de la metodología descrita por Martín (2002).

La siembra de *Morus alba* se realizó pasados 45 días (octubre) y se utilizaron estacas con una longitud promedio entre 20 y 30 cm y un grosor de 8 a 10 mm, que se plantaron verticalmente con respecto al suelo y se dejó, al menos una yema bajo tierra. Se utilizó una distancia de siembra de 0.75 x 0.40 m. El cultivo se mantuvo sin malezas mediante limpia manual, tuvo riego por gravedad y se efectuó un primer corte de homogenización, aproximadamente a los 150 días posteriores a la siembra. El cultivo se consideró establecido cuando tuvo más de un metro de altura (en mayo de 2015, aproximadamente, siete meses después de su siembra) y se utilizó a partir de su establecimiento una frecuencia de corte de cada 45 días en lluvia y 70 días en seca, para el total de siete cortes por año.

Debido al trabajo con las leguminosas como abonos verdes, la evaluación del efecto en el suelo de las prácticas utilizadas, solamente se efectuó para los años 2015 y 2016.

Determinaciones en el suelo y la vegetación para cada área de evaluación

En cada área se determinó la condición de sus suelos mediante el método de evaluación visual (Shepherd *et al.*, 2006), mismo que permitió calcular el índice de calidad visual del suelo (ICV). Se evaluó estacionalmente en cada año, para lo cual se tomaron cinco puntos representativos para la determinación visual de la textura, estructura y consistencia, porosidad, color, contenido de lombrices, profundidad de penetración de las raíces, encharcamiento, cobertura superficial y erosión del suelo. Además, se tomó un punto de referencia no disturbado para tener mayor precisión para determinar la coloración natural de ese suelo, sin los efectos del cultivo, así como para comparar la estructura y la porosidad. La prueba se realizó siempre en suelos con humedad adecuada (entre 60 y 80%). Cada punto de muestreo se tomó en un cuadro de 20 cm de ancho x 20 cm de largo x 30 cm de profundidad. A cada indicador se le otorgó puntuación (0 = pobre; 1 = moderada o 2 = buena) y su sumatoria señaló la condición de calidad del suelo: pobre < 15, moderada 15 a 30 y buena > 30.

Para la mejor comprensión e interpretación del ICV del suelo, las variables denominadas lombrices, cobertura y profundidad de la raíz, que forman parte del índice, se analizaron independientemente. Las

lombrices indicaron la cantidad de individuos de esta especie encontrados en la muestra, la cobertura fue el porcentaje del suelo cubierto por la vegetación y la profundidad de la raíz se consideró como la profundidad de enraizamiento máxima a la que las raíces de los pastos y forrajes pudieron llegar en cada momento de evaluación.

Para estimar el carbono en el suelo (C_s) se usó el dato de la materia orgánica por el método de Walkley y Black (1934), y posteriormente se dividió el % MO resultante de este método entre 1.7 (McVay y Rice, 2002; Miranda *et al.*, 2007).

$$C_s = \%MO / 1.7$$

Mientras que para la densidad aparente (DA) se utilizó un cilindro de base cortante con volumen de 106.76 cm³ (8.5 cm de longitud y 4 cm de diámetro), según el método de Martín y Cabrera (1987).

El C almacenado en el suelo (CAS, t C ha⁻¹) se estimó a partir del porcentaje de C en el suelo (% C_s), la densidad aparente (DA) y la profundidad de muestreo (PM) del mismo, según Amézquita *et al.* (2004):

$$CAS = \%C_s * DA * PM.$$

Para la evaluación de los indicadores agroquímicos (N, P, Ca, Mg, pH y MO) se tomaron al azar, en cada área, 10 muestras compuestas, formadas por cinco puntos obtenidos con barrena helicoidal y tres muestras inalteradas para las propiedades físicas, todas ellas se determinaron para las profundidades de 0 a 10 y de 10 a 20 cm. Las muestras se secaron al aire.

La resistencia a la penetración se determinó en la profundidad de 0 a 10 cm para lo que se utilizó el equipo FielScout SC 900 Soil Compaction Meter, y se realizaron 20 lecturas por hectárea evaluada.

En la vegetación se evaluó la composición botánica, la que se determinó en 80 marcos ha⁻¹ distribuidos al azar en cada cuartón, mediante el método de 't Mannetje y Haydock (1963).

Para el análisis estadístico se empleó el paquete estadístico InfoStat. Se verificaron los supuestos teóricos del análisis de varianza para la normalidad de los errores a partir de la dócima de Shapiro-Wilk (1965) y la homogeneidad de varianza por la dócima de Levene (1960); para las variables Índice de calidad visual, lombrices, profundidad de la raíz y la cobertura, estas no cumplieron con los supuestos teóricos del ANAVA, por lo que se emplearon las transformaciones $\sqrt{x}$ para las variables de conteo y ArcoSeno $\sqrt{\%}$ para las variables expresadas en %. Sin embargo, no mejoraron el cumplimiento de dichos supuestos, por lo que se realizó un análisis de varianza no paramétrico de clasificación simple Kruskal-Wallis y se aplicó la dócima de Conover (1999) para la comparación de los rangos medios.

Para la composición botánica, la densidad aparente, la resistencia a la penetración y el carbono almacenado en suelo se realizaron análisis de varianza según diseño completamente aleatorizado, y se aplicó dócima de Duncan (1955) para $P < 0.05$. Mientras que a los datos de la resistencia a la penetración se les realizó también la regresión lineal.

RESULTADOS

Área de bancos de semillas-proteína

En la figura 1 se muestra el comportamiento de la composición botánica del área a partir de 2015 en el devenido banco de proteína. Se observa que canavalia y mucuna tuvieron mejor comportamiento en época poco lluviosa de ambos años, y sólo predominaron en la seca de 2015, para después decrecer su porcentaje e ir desapareciendo paulatinamente; además se aprecia en la época lluviosa la presencia de malezas en ambos años.

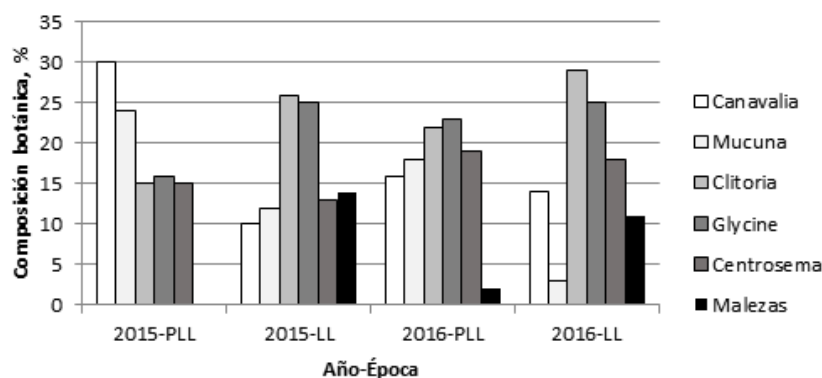


FIGURA 1
Comportamiento de la composición botánica en el banco de proteína
PLL: Época poco lluviosa. LL: Época lluviosa

En el suelo de esta área se observó una significativa mejora. Su ICV (figura 2) se recuperó respecto a 2013 en alrededor de 10 puntos para la época poco lluviosa de 2014 (23.6 puntos) y alcanzó condición buena en la lluvia de ese mismo año (33.9 puntos). Posteriormente se observó que mantuvo estabilidad en este índice. La cantidad de lombrices y la cobertura se incrementaron respecto al año base para ambas épocas estacionales (cuadro 1). Mientras, la profundidad de la raíz mejoró respecto al año base, pero entre años posteriores solamente difirió para la época lluviosa (cuadro 1). La resistencia a la penetración mostró una recuperación hacia valores inferiores al valor crítico inicial, que varió de 2.10 Mpa en 2013 a 1.36 Mpa en 2016, lo que significó un decrecimiento en -0.247 Mpa entre el inicio y el fin de la investigación (figura 3).

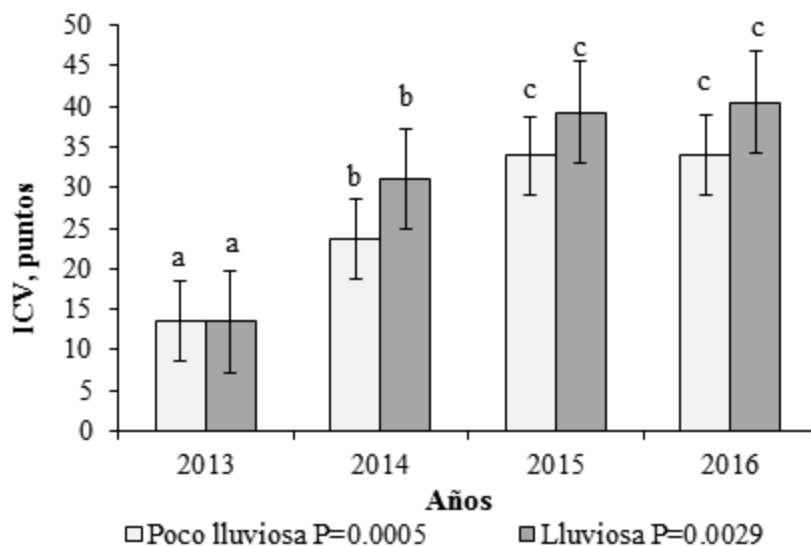


FIGURA 2
Comportamiento dinámico de la calidad del suelo en el área de bancos de semillas-proteína.
ICV: Índice de Calidad Visual del suelo. ^{a,b,c}: letras distintas indican diferencias significativas para $P < 0.05$, según Duncan (1955).

CUADRO 1
Comportamiento de las variables lombrices, profundidad de la raíz y cobertura del suelo en el área de banco de semillas-proteína.

Variable	Época	Año				Significación
		2013	2014	2015	2016	
Lombrices, individuos m ⁻²	Poco lluviosa	3.00 ^a (0.00) DE=0.00	5.60 ^b (2.30) DE=2.06	10.10 ^c (8.80) DE=2.05	10.90 ^c (9.40) DE=2.30	P=0.0070
	Lluviosa		3.70 ^b (5.40) DE=3.71	8.70 ^{bc} (12.40) DE=1.67	11.60 ^c (14.20) DE=1.92	P=0.0168
Profundidad de la raíz, m	Poco lluviosa	3.00 ^a (0.18) DE=0.00	6.60 ^b (0.46) DE=0.10	8.60 ^b (0.50) DE=0.06	12.40 ^b (0.59) DE=0.03	P=0.0029
	Lluviosa		3.00 ^b (0.32) DE=0.04	10.20 ^c (0.52) DE=0.06	10.80 ^c (0.54) DE=0.08	P=0.0081
Cobertura, %	Poco lluviosa	3.00 ^a (69.00) DE=0.00	15.34 ^c (94.20) DE=1.64	13.00 ^b (90.00) DE=1.58	8.00 ^{ab} (79.80) DE=2.95	P=0.0015
	Lluviosa		10.00 ^c (98.60) DE=2.19	4.10 ^b (95.60) DE=1.52	9.90 ^c (98.00) DE=1.67	P=0.0494

a,b,c: Letras distintas indican diferencias significativas para $P < 0.05$, según Duncan (1955). (): medias originales. DE: desviación estándar.

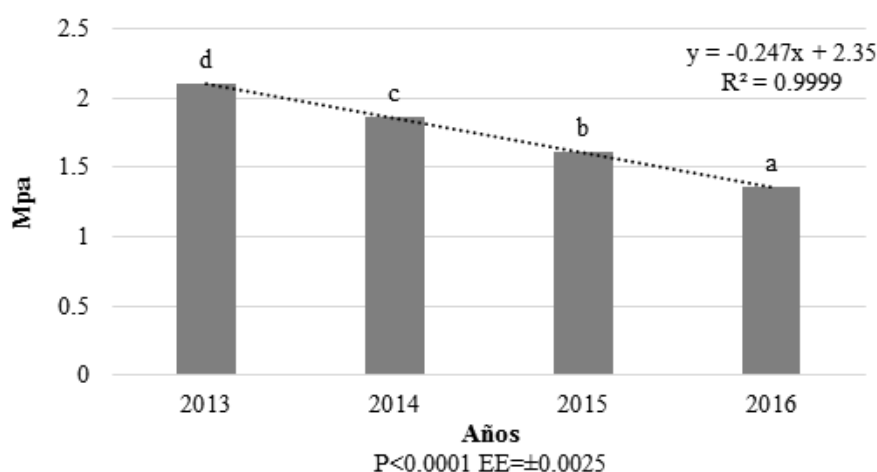


FIGURA 3
Comportamiento de la resistencia a la penetración en el banco de semillas-proteína

a,b,c,d: Letras distintas indican diferencias significativas para $P < 0.05$, según Duncan (1955).

Por su parte, el CAS también tuvo en ambas profundidades incrementos marcados (figura 4). La materia orgánica alcanzó en 2015 valores de 5.68% y en 2016 de 4.96% (véase cuadro 2) y la densidad aparente (figura 5) varió positivamente en la profundidad de 0 a 10 cm de 0.19 g cm⁻³ en 2014 a 0.79 g cm⁻³ en 2016.

Se observó el incremento de N total, mejora de P, aumento de Ca, Mg y del pH en el suelo, que pasó de ácido a neutro o ligeramente ácido (cuadro 2).

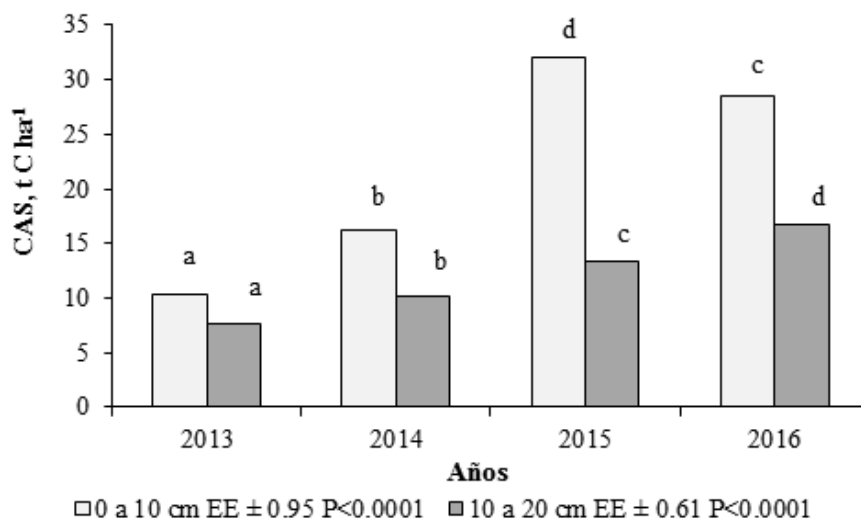


FIGURA 4

Carbono orgánico almacenado en el suelo del área con bancos de semillas-proteína.

a,b,c,d: Letras distintas indican diferencias significativas para P<0,05, según Duncan (1955).

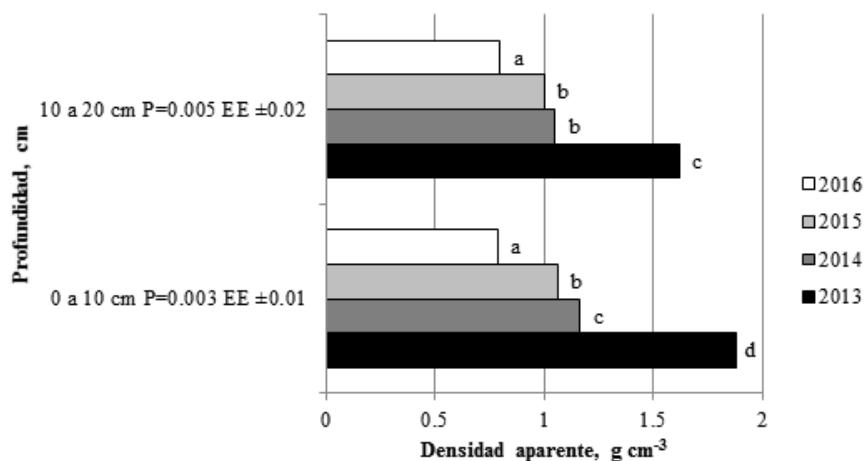


FIGURA 5

Comportamiento de la densidad aparente del suelo en el suelo del área con bancos de semillas-proteína

a,b,c: Letras distintas indican diferencias significativas para P<0,05, según Duncan (1955).

CUADRO 2
Comportamiento de los indicadores agroquímicos del área con banco de semilla-proteína.

Indicador	Profundidad, cm	Años				EE y Signif.
		2013	2014	2015	2016	
N total, %	0 a 10	0.12 ^a	0.15 ^b	0.28 ^d	0.25 ^c	±0.0050 P<0.0001
	10 a 20	0.08 ^a	0.12 ^b	0.19 ^c	0.21 ^c	±0.0059 P<0.0001
P ₂ O ₅ , kg ha ⁻¹	0 a 10	3.92 ^a	40.87 ^b	-	-	±1.4093 P<0.0001
	10 a 20	3.64 ^a	39.47 ^b	-	-	±1.1002 P<0.0001
Ca, cmol kg ⁻¹	0 a 10	2.21 ^a	2.16 ^a	5.08 ^b	4.95 ^b	±0.1062 P<0.0001
	10 a 20	1.97 ^a	2.00 ^a	4.06 ^b	4.33 ^c	±0.0413 P<0.0001
Mg, cmol kg ⁻¹	0 a 10	0.30 ^a	0.35 ^a	0.49 ^b	0.45 ^b	±0.0104 P<0.0001
	10 a 20	0.25 ^a	0.29 ^a	0.42 ^c	0.40 ^b	±0.0048 P<0.0001
pH, KCL	0 a 10	4.50 ^a	4.54 ^a	6.21 ^c	5.87 ^b	±0.0929 P<0.0001
	10 a 20	4.47 ^a	4.50 ^a	6.16 ^c	5.13 ^b	±0.0929 P<0.0001
MO, %	0 a 10	1.18 ^a	3.96 ^b	5.68 ^d	4.96 ^c	±0.0993 P<0.0001
	10 a 20	1.00 ^a	2.40 ^b	3.88 ^c	4.20 ^c	±0.1189 P<0.0001

a,b,c,d: Letras distintas indican diferencias significativas para P<0.05, según Duncan (1955).

Área con abonos verdes/Morus alba

En el área se mantuvo, como composición botánica, 100% de morera durante los dos años de evaluación.

El ICV (figura 6) mejoró significativamente respecto a la línea base. Los indicadores edáficos que se utilizan para su determinación progresaron entre años; así, la profundidad de la raíz y la población de lombrices se incrementaron (cuadro 3); la materia orgánica aumentó (cuadro 4); disminuyeron las costras superficiales y la cobertura del suelo se mantuvo con valores superiores a 95%, sin variar entre momentos de evaluación. Estas condiciones se encontraron durante el segundo año del cultivo, momento en el que también aparecieron algunas malezas, las que se controlaron manualmente. Las raíces, sin embargo, no tuvieron variaciones entre

años para cada época, aunque mostraron que el cultivo tiende a extender rápidamente su sistema radical, que alcanza entre 0.55 y 0.67 m de profundidad.

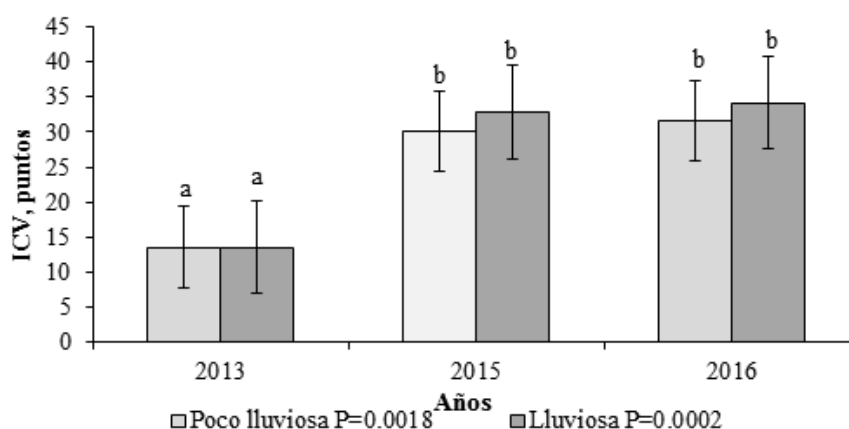


FIGURA 6

Comportamiento dinámico de la calidad del suelo en el área 2 con abonos verdes/*Morus alba*

^{a,b,c}: Letras distintas indican diferencias significativas para $P < 0.05$, según Duncan (1955).

CUADRO 3

Comportamiento de algunas variables biológicas que conforman el índice de calidad de suelo.

Variable	Época	Año			Significación
		2013	2015	2016	
Lombrices, individuos m^{-2}	Poco lluviosa	3.00 ^a (0.00) DE=0.00	8.24 ^b (6.12) DE=1.91	9.13 ^b (6.40) DE=0.98	P=0.0037
	Lluviosa		9.72 ^b (8.37) DE=1.05	11.11 ^c (12.20) DE=2.36	P=0.0024
Profundidad de la raíz, m	Poco lluviosa	3.00 ^a (0.18) DE=0.05	8.60 ^b (0.55) DE=0.06	9.20 ^b (0.60) DE=0.03	P=0.0002
	Lluviosa		9.18 ^b (0.61) DE=0.06	9.99 ^b (0.67) DE=0.08	P=0.0097

^{a,b,c}: Letras distintas indican diferencias significativas para $P < 0.05$, según Duncan (1955). (): medias originales. DE: desviación estándar.

A pesar que el ICV se mantiene relativamente sin variaciones entre 2015 y 2016, el cuadro 4 muestra que, de manera general, los indicadores agroquímicos evidenciaron mejoras respecto a la línea base, pero con leve retroceso para el año 2016. Igualmente, ocurrió con la resistencia a la penetración (figura 7) y el carbono orgánico acumulado en el suelo (figura 8) y la densidad aparente del suelo (figura 9).

En correspondencia con lo anteriormente expresado, el comportamiento de los indicadores agroquímicos (cuadro 4) mostró que el N total tuvo incremento en el año 2015 respecto a la línea base, mientras que en 2016 disminuyó nuevamente.

En el caso del pH sí se observó mejora, que lo llevó de suelo ácido a medianamente ácido y finalmente a una condición de neutralidad, la cual es positivo para el cultivo presente.

CUADRO 4
Comportamiento de los indicadores agroquímicos del área con abonos verdes-morera.

Indicador	Profundidad, cm	Años			EE y significación
		2013	2015	2016	
N total, %	0 a 10	0.12 ^a	0.35 ^c	0.22 ^b	±0.0064 P<0.0001
	10 a 20	0.08 ^a	0.29 ^c	0.18 ^b	±0.0132 P<0.0001
P ₂ O ₅ , kg ha ⁻¹	0 a 10	3.92 ^a	71.96 ^b	62.29 ^c	±1.6499 P<0.0001
	10 a 20	3.64 ^a	65.94 ^c	59.01 ^b	±0.6399 P<0.0001
Ca, cmol kg ⁻¹	0 a 10	2.21 ^a	3.12 ^b	8.64 ^c	±0.0890 P<0.0001
	10 a 20	1.97 ^a	3.00 ^b	5.41 ^c	±0.0822 P<0.0001
Mg, cmol kg ⁻¹	0 a 10	0.30 ^a	0.53 ^b	0.78 ^c	±0.0170 P<0.0001
	10 a 20	0.25 ^a	0.47 ^b	0.61 ^c	±0.0164 P<0.0001
pH, KCL	0 a 10	4.50 ^a	4.87 ^a	6.67 ^b	±0.0553 P<0.0001
	10 a 20	4.47 ^a	4.86 ^b	6.33 ^c	±0.0666 P<0.0001
MO, %	0 a 10	1.18 ^a	5.76 ^c	4.44 ^b	±0.1286 P<0.0001
	10 a 20	1.00 ^a	5.88 ^c	3.60 ^b	±0.2638 P<0.0001

^{a,b,c,d}: Letras distintas indican diferencias significativas para P<0.05, según Duncan (1955)

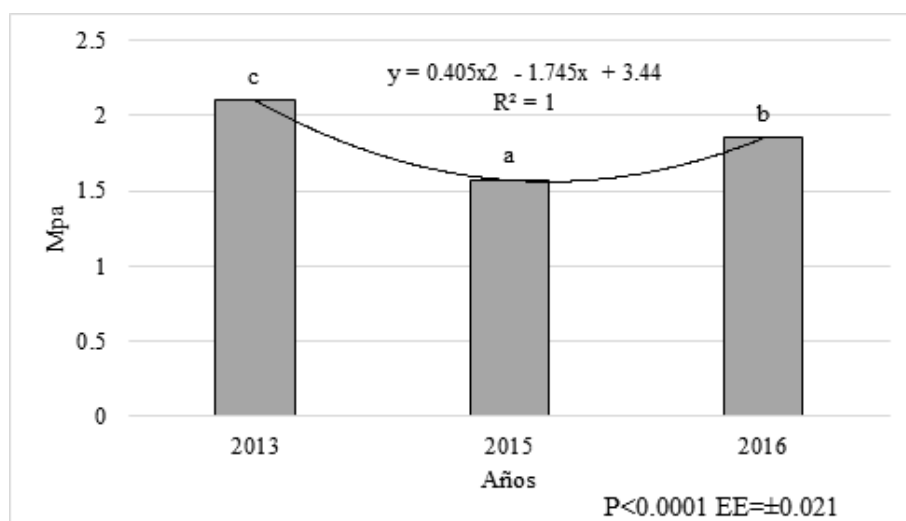


FIGURA 7

Comportamiento de la resistencia a la penetración en el área con abonos verdes-morera

^{a,b,c}: Letras distintas indican diferencias significativas para $P < 0.05$, según Duncan (1955).

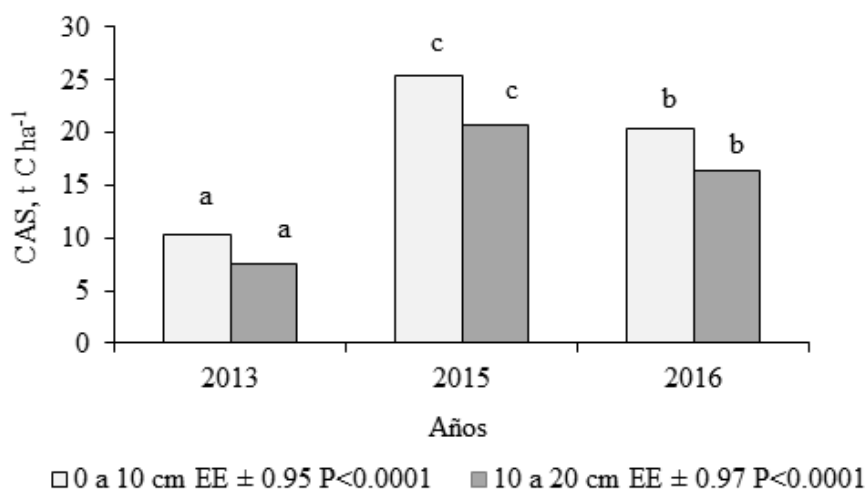


FIGURA 8

Carbono orgánico almacenado en el suelo del área con abonos verdes-morera en UBPC Las Cadenas

^{a,b,c,d}: Letras distintas indican diferencias significativas para $P < 0.05$, según Duncan (1955).

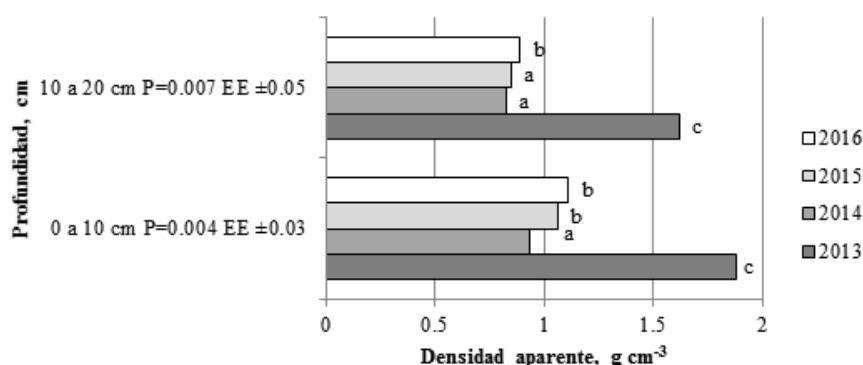


FIGURA 9
Comportamiento de la densidad aparente del suelo del
área con abonos verdes-morera en UBPC Las Cadenas

DISCUSIÓN

Área de bancos de semillas-proteína

La composición botánica varió ante el crecimiento de las especies perennes, que soportaron mejor los cortes continuos y fueron dominando. Este fue el caso de clitoria, glycine y centrosema.

Otra causa de que canavalia y mucuna posean mejores poblaciones en la estación poco lluviosa puede ser por lo que expresa Castro (2016), quien plantea que las leguminosas temporales suelen ser más tolerantes a las condiciones de época seca (menores precipitaciones, menor radiación solar, menor duración del día y menores temperaturas medias). Estas especies disminuyeron paulatinamente en la composición botánica debido a que, como especies temporales, son capaces de soportar menos los continuos cortes del forraje (Mureithi *et al.*, 2003).

La presencia de las malezas en la época lluviosa se asoció a que en esa estación las condiciones de humedad, luminosidad, temperatura y radiación favorecen el crecimiento de esas especies (Montoya *et al.*, 2018). En áreas de pastos y forrajes las semillas de malezas casi siempre están presentes en los primeros centímetros del suelo, son remanentes de usos anteriores y algunas se mantienen viables en el suelo por varios años. En pastizales donde ya crecieron malezas, generalmente están presentes muchas semillas de estas mismas especies; también en áreas bien establecidas hay semillas de malas hierbas traídas por el viento, por escorrentías, por insectos, por los pájaros u otros animales silvestres o por el ganado mismo, a través de semillas pegadas en las patas o presentes en el estiércol. Esta reserva o *banco* de semillas está lista para germinar y crecer cuando las condiciones de luz, agua y nutrientes les resulten favorables (Cifuentes *et al.*, 2012).

El incremento marcado del ICV en ambas profundidades debió estar relacionado con los cambios positivos ocurridos en el contenido de materia orgánica (véase cuadro 2), con la disminución de la resistencia a la penetración y de la densidad aparente, así como con el comportamiento de las poblaciones de lombrices, de la profundidad que alcanzaron las raíces y de la cobertura del suelo.

El comportamiento de todos los indicadores evaluados se relacionó directamente con el manejo y las labores culturales aplicadas, que propiciaron variar el ICV de pobre a bueno. En este sentido fue significativa la dinámica de las lombrices, cuya población no existía en el año base y durante el estudio reapareció y se mantuvo con cantidades de hasta 14 individuos m⁻². Este es un indicador fundamental para determinar la salud y calidad del suelo (Rousseau *et al.*, 2013).

Esta especie de la macrofauna puede procesar a través de su cuerpo el suelo, lo que influye de forma significativa en sus propiedades físicas, químicas y biológicas, y otorga a estos organismos un papel crucial en la modificación de la estructura del suelo, en la aceleración de la descomposición de la materia orgánica y del reciclado de nutrientes, que tiene a su vez efectos muy importantes sobre las comunidades vegetales que viven por encima de la superficie del suelo (Domínguez *et al.*, 2009).

La profundidad de las raíces mostró un comportamiento adecuado para el tipo de suelo y especies cultivadas. La calidad del suelo depende también de la profundidad disponible para la exploración de las raíces, la que está dada por el tipo de suelo y la forma en que se maneje (Morell *et al.*, 2006). Los suelos Ferralíticos rojo son profundos, y en ellos generalmente las raíces pueden llegar hasta 1 m de profundidad (Hernández *et al.*, 2015). En el caso de las especies de pastos herbáceos, como los que se encontraban en el estudio, las raíces se suelen encontrar hasta los 60 cm de profundidad, lo que se correspondió con los resultados y coincide con lo que encontraron Martín y Borges (2014) cuando estudiaron el comportamiento de las propiedades de un suelo Ferralítico rojo por el uso de *Canavalia ensiformis*, en el que las raíces alcanzaron profundidades de entre 50 y 60 cm, con mayor abundancia en los primeros 20 cm, a lo que atribuyeron un efecto de laboreo biológico.

Se conoce que la densidad aparente y la resistencia a la penetración tienen relación directa, ya que la primera refleja el peso del suelo calculado a partir de su volumen total, incluyendo los sólidos y los poros, mientras que la resistencia indica la compactación del suelo, de manera que a medida que el suelo se compacta debe disminuir la porosidad y aumentar la densidad y viceversa (Tarawally y Frómeta, 2000; Salamanca y Sadeghian, 2005).

Los resultados que se obtuvieron en esta investigación se correspondieron con la relación descrita y coinciden con lo que expresan Blanco-Sepúlveda (2009), quien asegura que la densidad aparente presenta una correlación significativa con la resistencia mecánica del suelo, aunque acota que para mayor confiabilidad de los resultados, cuando se evalúan estos indicadores es necesario que el muestreo de suelos se realice a capacidad de campo.

La densidad aparente influye sobre la productividad de los cultivos, debido a su estrecha relación con otras propiedades del suelo (Stewart *et al.*, 1998 y Schoenholtz *et al.*, 2000). Reyes (2010) y Rollán y Bachmeier (2014) plantean que cuando la densidad aparente del suelo aumenta, se incrementa la compactación y se afectan las condiciones de retención de humedad, limitando a su vez el crecimiento de las raíces. A su vez, esta propiedad está influenciada por las partículas sólidas y por el espacio poroso, el cual a su vez está determinado, principalmente, por la materia orgánica del suelo (Stine y Weil, 2002). A medida que aumenta la materia orgánica y el espacio poroso, debe disminuir la densidad y viceversa.

El CAS también debe ser una función de los contenidos de materia orgánica (Giraldo *et al.*, 2006). Fisher *et al.* (2004) y Amézquita *et al.* (2006) plantean que 75% del C orgánico del suelo se encuentra entre los 20 y 80 cm de profundidad, por lo que estimaron que de 0 a 30 cm exista 40 t C ha⁻¹, aproximadamente. En el caso de este estudio, los valores en la profundidad de 0 a 20 cm debieron relacionarse con las labores de cultivo y manejo realizadas (laboreo, aplicación de materia orgánica, uso de plantas leguminosas, entre otros) lo que mostró que el tipo de manejo contribuyó a la mejora paulatina de este indicador y a que tendiera a encontrarse en rangos de valores similares a lo que plantean dichos autores, como posibles para estos suelos.

El carbono orgánico del suelo, formado por compuestos de diversa naturaleza química y estado de descomposición, interviene en las propiedades químicas del suelo, aumenta la capacidad de intercambio catiónico y la capacidad neutralizante sobre la reacción del suelo (pH). En este sentido, el incremento del pH que se observó pudo también relacionarse con la dinámica del Ca y el Mg, debido a que autores como Cairo y Fundora (1994), aseguran que existe una relación directamente proporcional entre los contenidos de los cationes alcalinotérreos (Ca²⁺ y Mg²⁺) y el valor de pH.

El N y la materia orgánica con su incremento respecto al año base, también evidenciaron el progreso del suelo. Las leguminosas son especiales ya que aportan nitrógeno al suelo procedente de la atmósfera mediante

el proceso conocido como fijación biológica, que realizan en simbiosis con determinadas bacterias diazotrofas. En este sentido se ha demostrado que la utilización de leguminosas puede ayudar a recuperar áreas degradadas, de escasa fertilidad y contenido en nutrientes (Vargas y Valdivia, 2005). Las especies fijadoras de N_2 son importantes por la cantidad de nitrógeno que incorporan al ecosistema, muchas veces debido a una mayor cantidad del mismo en sus tejidos, produciendo hojarasca con menor relación C/N y, por tanto, un tejido fácilmente degradable por los microorganismos del suelo (Rodríguez y Gallardo, 2003).

De manera general, el área logró satisfacer la demanda de semillas para la incorporación de las leguminosas mediante diferentes variantes tecnológicas en la unidad de producción y se observó la mejora de la fertilidad edáfica con la incorporación de las leguminosas, ya fuera en su fase como banco de semillas o como banco de proteínas. Esto se reflejó en la recuperación del ICV por el incremento de la biota edáfica y la mejora de la profundidad que lograron alcanzar las raíces. También, por el progreso en el CAS asociado al ascenso de los contenidos de materia orgánica y la disminución de la resistencia a la penetración.

Área con abonos verdes/*Morus alba*

La mejora del ICV (figura 6) estuvo dado, principalmente, por el incremento de la profundidad de la raíz, la disminución de las costras, la mejora de la cobertura del suelo, y al aumento de la materia orgánica.

El comportamiento de la profundidad de la raíz, las lombrices y la cobertura en el suelo (cuadro 3) evidenció que el manejo del cultivo tendió a mantener sin variaciones la cantidad de lombrices en la época poco lluviosa, mientras que en la lluviosa se incrementaron, sobre todo porque la hojarasca que acumuló entre cortes hizo que bajo las plantas se creara un colchón de desechos que debió beneficiar la conservación de la humedad del suelo, factor primordial para el crecimiento y desarrollo de estos organismos.

Los denominados ingenieros del ecosistema (lombrices, termitas y hormigas), junto con las raíces, determinan la arquitectura del suelo a través de la acumulación de agregados y poros de diferentes tamaños (Gómez-Pamies *et al.*, 2016), asimismo interviene en su estructura (Ruíz *et al.*, 2011) y fertilidad. La actividad de los macroinvertebrados se ve afectada por la sequía y el calor (Sánchez y Crespo, 2004). La falta de cobertura vegetal puede inducir ambos factores. Las plantas y los desechos orgánicos proveen los hábitats de los organismos del suelo (Rodríguez *et al.*, 2002).

El comportamiento de los indicadores químicos y físicos se pudo deber a varios factores, entre los que sobresalen el corte de morera como forraje entre seis y siete veces al año, que a la vez provocó que la biomasa que se produjo saliera del área y no se incorporara al reciclaje de nutrientes. La morera es una planta altamente extractora de N y K (Pentón *et al.*, 2014). Por otro lado, el control continuo de las malezas y la eliminación en el área de sus restos, no permitió crear *mulch* o mantillo vegetal que cubriera completamente el suelo. Esto debió contribuir a que tras dos años de producción continua se comenzaran a notar cambios negativos en la fertilidad edáfica, que indicaron la necesidad de realizarle nuevas incorporaciones de materia orgánica al suelo u otras prácticas que permitieran la conservación de su fertilidad.

El rápido decrecimiento entre años en los contenidos de los nutrientes y minerales del suelo (cuadro 4), también pudo relacionarse con el tiempo promedio de efecto, que puede tener el uso de los abonos verdes en estas propiedades: por ejemplo, con la incorporación de leguminosas como abonos verdes, el N en el suelo puede estar disponible hasta 90 días después de la incorporación, sobre todo si las leguminosas tienen taninos (Barrios *et al.*, 1996; Seneviratne, 2000). En estudios en Brasil se reporta que entre 85 y 95% del N proveniente de abonos verdes de mucuna, canavalia y crotalaria en el suelo se absorbió por el cultivo de maíz en los primeros 29 días después de la germinación, lo que indicó su rápida mineralización (Chikowo *et al.*, 2006; García *et al.*, 2001).

El incremento de N en 2015 se asoció al uso de las leguminosas como abonos verdes. Castro (2016) aseguró que esta práctica, aunque se conoce, se aplica poco en los sistemas ganaderos, debido a que los beneficios que se obtienen con su uso no se reflejan directamente en la producción. Sin duda alguna, esta es una alternativa

al uso de nitrógeno químico para suplir el N requerido por los cultivos forrajeros, los que para que su uso sea sostenible y perdure en el tiempo, requieren de la aplicación de N.

El uso de fertilizantes nitrogenados sintéticos es limitado por sus altos costos y por sus efectos adversos, tales como producción y lixiviación de nitratos, que contaminan las aguas freáticas con efectos negativos en salud humana y por la producción de óxido nitroso, que es un potente gas de efecto invernadero con efectos negativos en el calentamiento global (González-Estrada y Camacho, 2017).

Las leguminosas representan fuente sustancial de N, vía fijación biológica en sistemas agrícolas tropicales (Palm *et al.*, 2001). Sus raíces profundas y los nódulos incrementan la disponibilidad de N y mejoran su distribución en los horizontes del suelo (Nziguheba *et al.*, 2005). La calidad y cantidad de hojarasca de esta familia es superior al de las gramíneas (Crespo, 2013). El N acumulado puede estar disponible en corto plazo para los cultivos siguientes a través de la mineralización de residuos y a plazo largo mediante la incorporación de residuos en las fracciones de materia orgánica del suelo (Mureithi *et al.*, 2003). Los residuos de leguminosas pueden incrementar el N mineral en el suelo (Barrios *et al.*, 1996) y la cantidad de N almacenado en la biomasa microbial (Nziguheba *et al.*, 2005).

El N almacenado en la microbiota del suelo podría estar disponible para las plantas cuando las condiciones ambientales favorezcan la lisis de las células microbianas; por ejemplo, en la alternancia entre periodos secos y húmedos (Martín y Rivera, 2002). Proceso que puede estar en sincronía con la demanda de la planta (Odhambo, 2010).

Si la mineralización del N liberado por los residuos de las leguminosas es demasiado rápida, antes que sea tomado por las raíces del cultivo siguiente se puede perder vía volatilización, desnitrificación o lixiviación (Chikowo *et al.*, 2006).

La eficiencia de recuperación del N fijado por leguminosas usadas como abono verde puede oscilar entre un mínimo de 3% y un máximo de 56%. Dentro de los factores que condicionan la eficiencia de recuperación del N fijado por leguminosas, se citan el estado de madurez de la leguminosa, fecha de su incorporación, tiempo entre la incorporación y la siembra del cultivo y las condiciones de temperatura y humedad del suelo (Martín, 2002).

El comportamiento del clima en la región también pudo ser una causa de la pérdida de N que se presenta en el último año de evaluación; es decir, el área en estudio se caracterizó por una intensa sequía en el año 2016 y la temperatura anual media fue superior a 28.5 °C (INSMET, 2017), lo que pudo acelerar el proceso de mineralización de la materia orgánica.

Resultados de experimentos conducidos en Cuyuta, Guatemala, mostraron que el valor de sustitución de fertilizante nitrogenado con *Mucuna spp.* y *Canavalia ensiformis*, manejados con cero labranza y sin incorporar los residuos, fue de alrededor de 60 kg N/ha, mientras que la sustitución fue mayor (hasta 158 kg N ha⁻¹ para *Canavalia* y 127 para *Mucuna*) cuando los residuos fueron totalmente incorporados al suelo (Pound, 2000).

De manera general, las leguminosas revisten gran importancia en la alimentación animal, por su contribución proteica en la dieta (Hernández-Cruz, 2013) y porque también su follaje y las semillas se pueden utilizar para la alimentación animal (Díaz *et al.*, 2003; Valiño *et al.*, 2015); asimismo, por su efecto al fijar nitrógeno atmosférico al suelo y mejorar la fertilidad edáfica de manera general, contribuyen positivamente en la calidad de las gramíneas que consumen los animales (Quintão *et al.*, 2013; Vargas *et al.*, 2013).

En los últimos años, las especies de esta familia se difunden en la producción, pero no con la necesaria intensidad y grado de expansión que requiere el desarrollo de la industria pecuaria de Cuba. Esto se debe a que los productores visualizan el uso múltiple de leguminosas en sus sistemas ganaderos; sin embargo, consideran que la utilización de leguminosas no es una opción viable, ya que perciben que están asociadas a tecnologías más complejas de manejar y con beneficios que no parecen compensar los costos de su implementación. El hecho de que su incorrecto manejo impida frecuentemente su establecimiento limita su uso, conjuntamente con la poca persistencia de estas especies (Ruíz *et al.*, 2015). En este sentido es necesario que se creen espacios

productivos en diferentes condiciones ambientales que demuestren el valor de su aplicabilidad. Así, las dos áreas evaluadas constituyen escenarios de referencia, en condiciones de producción, de la factibilidad que puede tener su uso para mejorar suelos deteriorados y de las ventajas productivas de su empleo.

CONCLUSIONES

Se demuestra que el uso de agrotecnias basadas en leguminosas en sistemas productivos puede constituir una vía eficaz para mejorar la fertilidad del suelo y, consecuentemente, favorecer la producción de los pastos y forrajes, siempre que se apliquen correctamente. Las áreas de estudio constituyen escenarios de referencia de estas prácticas en las condiciones edafoclimáticas del occidente de Cuba.

LITERATURA CITADA

- Amézquita, M.C.; Ibrahim, M. and Buurman, P. (2004). Carbon Sequestration in Pasture, Agropastoral and Silvopastoral Systems in the American Tropical Forest Ecosystem. In: *The Importance of Silvopastoral Systems in Rural Livelihoods to Provide Ecosystem Services*. Eds. 't Mannetje, L; Ramírez, L; Ibrahim, M; Sandoval, N; Ojeda, JK. Memoria. Mérida, Yucatán, México. Pp. 303-309.
- Amézquita, M.C.; Putten, B.; Ibrahim, M.; Ramírez, B.L.; Giraldo, H. and Gómez, M.E. (2006). Recovery of degraded pasture areas and C sequestration in ecosystems of tropical America. *WSEAS Transactions on Environment and Development*, 2(8): 1085–1091.
- Barrios, E.; Buresh, R.J. and Sprent, J.I. (1996). Nitrogen mineralization in density fractions of soil organic matter from maize and legume cropping systems. *Soil Biology and Biochemistry*, 28:1459-1465.
- Blanco-Sepúlveda, R. (2009). La relación entre la densidad aparente y la resistencia mecánica como indicadores de la compactación del suelo. *Agrociencia*, 43(3): 231-239.
- Cairo, P. y Fundora, O. (1994). Factores que determinan el pH del suelo. En: *Edafología*. Ed. Pueblo y Educación. P.141
- Castro, E. (2016). *Utilización de leguminosas forrajeras como abonos verdes para la producción de cultivos forrajeros y leche en ganaderías doble propósito en el trópico seco*. Tesis para optar al título de Doctor en Ciencias-Producción Animal. Universidad Nacional de Colombia Facultad de Medicina Veterinaria y de Zootecnia Bogotá, Colombia.
- Chikowo, R.; Mapfumo, P.; Leffelaar, P.A. and Giller, K.E. (2006). Integrating legumes to improve N cycling on smallholder farms in sub-humid Zimbabwe: resource quality, biophysical and environmental limitations. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, 76:219-231.
- Cifuentes, L. M.; Sepúlveda-Nieto, M. P. y Gómez, G.D. (2012). Arvenses asociadas a sistemas de pasturas en la zona baja del departamento del Quindío. *Rev. Invest. Univ. Quindío* (Col.), 23(2): 101-111.
- Conover, W. (1999). *Practical Nonparametric Statistics*. John Wiley & Sons, Inc., New York. 345 p.
- Crespo, G.J. 2013. Producción de biomasa de pastos tropicales. En: *Fisiología y producción de biomasa de pastos tropicales*. Edit: Herrera, R. S. EDICA. Pp. 233-254.
- Díaz, M. F.; Padilla, C.; Torres, V.; González, A. y Noda, A. (2003). Caracterización bromatológica de especies y variedades de leguminosas temporales con posibilidades en la alimentación animal. *Cuban Journal Agricultural Science*, 37(4): 453-457.
- Domínguez, J.; Aira, M. y Gómez-Brandón, M. (2009). El papel de las lombrices de tierra en la descomposición de la materia orgánica y el ciclo de nutrientes. *Ecosistemas* 18(2):20-31.
- Duncan, D. B. (1955). Multiple range and multiple F. tests. *Biometrics*. 11. 1.
- Febles, J. M. (2007). *Integración de métodos para evaluar la erosión de los suelos en Regiones Cárnicas de Cuba*. Tesis en opción al grado de Doctor en Ciencias Agrícolas. Facultad de Agronomía, Universidad Agraria de La Habana Fructuoso Rodríguez Pérez. Cuba.

- Febles, J. M.; Vegas, M. B.; Febles Pérez, G.; Tolón, A. y Jerez, L. (2008). Indicadores agroambientales de sostenibilidad para caracterizar la erosión de los suelos en regiones cárnicas de uso ganadero. *Revista Cubana de Ciencia Agrícola*, 42(4): 423-429.
- Fisher, M.J.; Rao, I.M. and Thomas, R.J. (2004). Implications of land use change to introduced pastures on carbon stocks in the central lowlands of tropical South America. *Environment Development and Sustainability*, 6:111–131.
- Fontana, L. (2014). *Efecto de la utilización de leguminosas anuales como abono verde sobre las condiciones del suelo y la productividad de cultivos subsiguientes*. Tesis en opción al Grado Científico de Magister en Ciencias Agropecuarias. Universidad Nacional de Córdoba. Facultad de Ciencias Agrarias. Argentina.
- Frioni, L. (1990). *Ecología microbiana del suelo*. Universidad de la República. Departamento de publicaciones y ediciones. Montevideo, Uruguay. Pp. 328.
- García, M.; Treto, E. y Álvarez, M. (2001). Comportamiento de diferentes especies de plantas para ser utilizadas como abonos verdes en las condiciones de Cuba. *Cultivos Tropicales*, 22 (4): 11-16.
- Giraldo, L.A.; Zapata, M. y Montoya, E. (2006). Estimación de la captura de carbono en silvopastoreo de Acacia mangium asociada con *Brachiaria dactylostea* en Colombia. *Pastos y Forrajes*, 29:421
- Gómez-Pamies, D.F.; Godoy, C. y Coronel, J. (2016). Macrofauna edáfica en ecosistemas naturales y agroecosistemas de la eco-región Esteros del Iberá (Corrientes, Argentina). *Cienc. Suelo (Argentina)*, 34 (1): 45-56.
- González-Estrada, A. y Camacho, M. (2017). Emisión de gases de efecto invernadero de la fertilización nitrogenada en México. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 8 (8): 1733-1745.
- Hernández, A., Pérez, J.M., Bosch, D. y Castro, N. (2015). *Clasificación de los suelos de Cuba 2015*. Ed. Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas. Cuba. 91 p. ISBN: 978-959-7123-77-7.
- Hernández, A.; Morales, M.; Morell, F.; Borges, Y.; Ascanio, M.O.; Bojórquez, J.I.; Murria, R.; Ontiveros, H.; García, J.D.; Cid, G. y Gómez, I. (2010). *Cambios en las propiedades de los suelos por la actividad agrícola en ecosistemas tropicales*. VII Congreso de la Sociedad Cubana de la Ciencia del Suelo. CD-Room. ISBN: 74524-0018-5.
- Hernández-Cruz, E. (2013). *Evaluación de sistemas agroforestales con leguminosas nativas en la restauración del suelo de Guerrero, México*. Tesis en Opción al Grado Científico de Maestro en Ciencias. Universidad Autónoma de México, México.
- INSMET. (2017). *Resumen mensual de variables climáticas. Provincia Pinar del Río. Estación la Palma*. Fecha de consulta: 15 de julio. Sitio de consulta: <http://www.insmet.cu/asp/genesis.asp?TB0=PLANTILLAS&TB1=MES&TB2=/Mes/>
- Rousseau, L.; Steven J. Fonte, S.J.; Téllez, O.; Van der Hoek, R. y Lavelle, P. (2013). Soil macrofauna as indicators of soil quality and land use impacts in smallholder agroecosystems of western Nicaragua. *Ecological Indicators*, 27: 71–82.
- Levene, H. (1960). *Robust tests for the equality of variance. Contributions to Probability and Statistics*. Stanford University Press. Pp. 278-292.
- Lok, S. (2010). Sustainability indicators to study grasslands. *Cuban Journal of Agricultural Science*, 44 (4): 327-338.
- Martín, G.M. y Rivera, R. (2002). Participación del nitrógeno de los abonos verdes en la nutrición nitrogenada del maíz (*Zea mays* L.) cultivado sobre suelo Ferralítico Rojo. *Cultivos Tropicales*, 23 (3): 91-96.
- Martín, G.M. (2002). *Mineralización del nitrógeno de los abonos verdes y su participación en la nutrición nitrogenada del maíz (Zea mays L.) cultivado sobre un suelo Ferralítico rojo de La Habana*. Tesis de Doctorado. Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas.
- Martín, N. J. y Borges, M. (2014). Mejoramiento de las propiedades de un suelo Ferralítico rojo con el uso de la *Canavalia ensiformis* (L). *Ingeniería Agrícola*, 4 (1): 42-47.
- Martín, N. J. y Cabrera, R. (1987). *Manual de actividades prácticas de suelos*. Ed. Instituto Superior de Ciencias Agrícolas de La Habana. La Habana, Cuba, Pp.315.
- McVay, K.A. and Rice, C.W. (2002). *Soil organic carbon and the global carbon cycle*. Kansas State University. Available: <http://www.oznet.ksu.edu>. (Consultada el 20 de noviembre de 2017).

- Miranda, T.; Machado, R.; Machado, H. y Duquesne, P. (2007). Carbono secuestrado en ecosistemas agropecuarios cubanos y su valoración económica. Estudio de caso. *Pastos y Forrajes* 30:483.
- Montoya, J.; Berhongaray, G. y Romano, N. (2018). *Manejo de malezas en pasturas perennes en base a leguminosas*. Ediciones INTA. Centro Regional La Pampa-San Luis. Recuperado 7 de mayo de 2019, de <https://www.researchgate.net/publication/322700427>.
- Morell, F.; Hernández, A.; Fernández, F. y Toledo, Y. (2006). Caracterización agrobiológica de los suelos Ferralíticos rojos lixiviados de la región de San José de las Lajas, en relación con el cambio en el manejo agrícola. *Cultivos Tropicales* 27 (4): 13-18.
- Mureithi, J.G.; Gachene, C.K.K. and Ojiem, J. (2003). The role of green manure legumes in smallholder farming systems in Kenya: the legume research network project. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, 1 (2-3): 57-70.
- Nziguheba, G.; Merckx, R. and Palm, C.A. (2005). Carbon and nitrogen dynamics in phosphorus deficient soil amended with organic residues and fertilizers in western Kenya. *Biol. Fertil of Soils*, 41 (4): 240-248.
- Odhiambo, J.J. (2010). Decomposition and nitrogen release by green manure legume residues in different soil types. *African Journal of Agricultural Research*, 5 (1): 90-96.
- Palm, C.A., Gachengo, C.N., Delve, R.J., Cadisch, G. and Giller, K.E. (2001). Organic inputs for soil fertility management in tropical agroecosystems: application of an organic resource database. *Agric Ecosyst Environ*, 83 (1-2): 27-42.
- Pentón, G.; Martín, G. J. y Rivera, R. (2014). Efecto de la combinación de HMA y fertilización química en las extracciones de nitrógeno y potasio realizadas por *Morus alba*. *Pastos y Forrajes*, 37 (1): 38-46.
- Pound, B. (2000). Cultivos de cobertura para la agricultura en América Latina. En: *Agroforestería para la producción animal en Latinoamérica*. <http://www.fao.org/ag/aGA/AGAP/FRG/AGROFOR1/pound7.pdf>. (Consultado el 09 de mayo de 2019).
- Quintão, Â. M.; Quintão R. M.; Lanna, G.; Borges, I.; Andrade, A. and Martins, R. (2013). *The influence of a silvopastoral system on carbon sequestration in the Brazilian Savanna*. Memorias IV Congreso de Producción Animal Tropical. ISBN: 978-959-7171-45-8.
- Reyes, R. y Willians, J. (2010). Evaluación de la susceptibilidad a la compactación en cuatro series de suelo bajo uso agrícola en Venezuela. *Bioagro*, 22 (1): 29-36.
- Rodríguez, A. y Gallardo, A. (2003). *Mineralización del nitrógeno bajo especies leguminosas y no leguminosas en suelos de matorral atlántico*. VII Congreso Nacional de la Asociación Española de Ecología Terrestre (AEET). España ante los compromisos del Protocolo de Kyoto: Sistemas Naturales y Cambio Climático. España. Pp. 217-232.
- Rodríguez, I.; Crespo, G. y Fraga, S. (2002). Comportamiento de la macrofauna del suelo en pastizales con gramíneas naturales puras o intercaladas con leucaena para la ceiba de toros. *Revista Cubana de Ciencias Agrícolas*, 36 (2): 181-186.
- Rollán, A.A. del C. and Bachmeier, O. A. (2014). Compactación y retención hídrica en Haplustoles de la provincia de Córdoba (Argentina) bajo siembra directa. *Agriscientia*, 31 (1): 1-10.
- Ruiz, N.; Celine, L.; Mathieu, J. and Lavelle, P. (2011). IBQS: A synthetic index of soil quality based on soil macroinvertebrate communities. *Soil Biology & Biochemistry*, 43 (10): 2032-2045.
- Ruiz, T.E.; Febles, G. and Alonso, J. (2015). A scientific contribution to legume studies during the fifty years of the Institute of Animal Science. *Cuban Journal of Agricultural Science*, 49(2): 233-241.
- Salamanca, A. y Sadeghian, S. (2005) La densidad aparente y su relación con otras propiedades en suelos de la zona cafetera colombiana. *Cenicafé*, 56 (4): 381-397.
- Sánchez, S. y Crespo, G. (2004). Comportamiento de la macrofauna del suelo en pastizales con gramíneas puras o intercaladas con leucaena. *Pastos y Forrajes* 27 (4): 347- 353.
- Schoenholtz, S.H.; Van Miegroet, H. and Burger, J.A. (2000). A review of chemical and physical properties as indicators of forest soil quality: challenges and opportunities. *Forest Ecology and Management*, 138 (1-3): 335-356.

- Seneviratne, G. (2000). Litter quality and nitrogen release in tropical agriculture: a synthesis. *Biology and Fertility of Soils*, 31(1): 60-64.
- Shapiro, S. y Wilk, B. (1965). An análisis of variante test for normalita (complete simples). *Biométrica*, 52 (3-4): 591-611.
- Shepherd, G.; Stagnari, F; Pisante, M y Benites, J. (2006). *Visual assessment-Fiel guide for anual crops*. Food and Agricultural Organisation of United Nations. Rome. 14 p.
- Skerman, D.G.; Camereon, D.G. y Riveros, F. (1991). Las leguminosas en los prados temporales de corto plazo. La función de las leguminosas tropicales en la agricultura. En: *Leguminosas forrajeras tropicales*. FAO. Roma, Italia. Pp. 28-30.
- Soca, M.; Irigoyen, H.; Cancio R. y Fuentes, E. (2008). *Desarrollo y estado actual de los suelos dedicados a la ganadería*. II Taller de Fertilidad de los suelos dedicados a la ganadería. CD-Room. ISBN: 959-16-0285-1
- Stewart, D.P.; Cameron, K.C.; Cornforth, I.S. and Sedcole, J.R. (1998). Effects of spent mushroom substrate on soil physical conditions and plant growth in an intensive horticultural system. *Australian Journal of Soil Research*, 36(6): 899-912.
- Stine, M.A. and Weil, R.R. (2002.) The relationship between soil quality and crop productivity across three tillage systems in South Central Honduras. *American Journal of Alternative Agriculture*, 17 (1): 2-8.
- 't Mannetje, L. y Haydock, K.P. (1963). The dry weight with rank method for the botanical analysis of pasture. *J. Brit. Grassld. Soc.* 18 (4): 268-275.
- Tarawally, M.A. y Frómeta, E.M. (2000). Analysis of the physical reactions of a red clayey tropical soil subjected to different compaction intensities. *Soil and Tillage Res.* 35:102.
- Valiño, E.; Savón, L.; Elías, A.; Rodriguez, M. and Albelo, N. (2015). Nutritive value improvement of seasonal legumes *Vigna unguiculata*, *Canavalia ensiformis*, *Stizolobium niveum*, *Lablab purpureus*, through processing their grains with *Trichoderma viride* M5-2. *Cuban Journal of Agricultural Science*, 49 (1): 81-89.
- Vargas, S.; Gutiérrez, D. I. and Cairo, P. (2013). *Impact of management upon soil quality and health in a protein-bank agroecosystem*. Memorias IV Congreso de Producción Animal Tropical. Cuba. ISBN: 978-959-7171-45-8.
- Vargas, Y. y Valdivia, L.A. (2005). Recuperación, mediante leguminosas rastreras, desuelos degradados (ex cocales) en la Selva Alta del Perú. *Mosaico Cient.*, 2 (2): 78-83.
- Walkley, A. and Black, A. (1934). An examination of the Degtjoreff method for determination soil organic matter, and a proposed codification of the cromic acid titration method. *Soil Sci.* 37:29-38.